



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 197 11 124 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 T 1/36  
G 01 T 1/20

②1 Aktenzeichen: 197 11 124.6  
②2 Anmeldetag: 10. 3. 97  
④3 Offenlegungstag: 6. 11. 97

AB

DE 197 11 124 A 1

⑥6 Innere Priorität:

196 09 360.0 11.03.96

⑦1 Anmelder:

Eberline Instruments GmbH Strahlen- und  
Umwelt-Messtechnik, 91056 Erlangen, DE

⑦4 Vertreter:

E. Tergau und Kollegen, 90482 Nürnberg

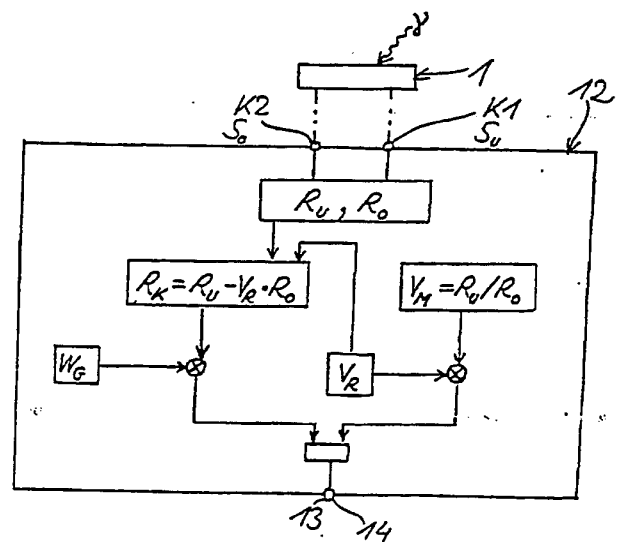
⑦2 Erfinder:

Trost, Norbert, 91056 Erlangen, DE; Iwatschenko,  
Michael, Dr., 91058 Erlangen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung

⑤7 Zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung wird ein organischer Szintillator (1) eingesetzt. Gemessene Daten ( $R_U$ ,  $R_O$ ,  $V_M$ ) einer Impulsamplitudenverteilung werden verglichen mit mindestens einem aus einer charakteristischen Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleiteten Referenzparameter ( $V_R$ ).



DE 197 11 124 A 1

Die folgenden Angaben sind den v m Anmelder ing r ichten Unt rlagen entnomm n

BUNDESDRUCKEREI - 09. 97 - 702 045/715

11/23

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Bei der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen sowie bei anderen Anwendungen auf dem Gebiet des Strahlschutzes steht häufig die Trennung zwischen künstlich erzeugten Strahlenquellen und einem meist dominanten Beitrag natürlich vorhandener Radioaktivität und deren Schwankungen im Vordergrund. Zur Erkennung künstlicher Gammastrahlen ist es bekannt, mit Hilfe der Gammaspektroskopie einzelne Gammalinien zu identifizieren und quantitativ auszuwerten. Dieses Meßverfahren benötigt jedoch lange Meßzeiten und einen hohen apparativen Aufwand.

Mit bekannten quantitativen Meßverfahren (z. B. Dosisleistungsmeßnetz zur Früherkennung radioaktiver Luftmassen oder Durchfahrtskontrollsystem für Fahrzeuge) kann selbst bei statistisch signifikanten Erhöhungen der Gammastrahlungsintensität nur schwer oder überhaupt nicht unterschieden werden, ob es sich um einen Anstieg der natürlichen Gamma-Umgebungsstrahlung oder um das Vorhandensein eines künstlichen Gammastrahlers handelt.

Insbesondere stark abgeschirmte künstliche Gammastrahler (zufällige Abschirmung durch z. B. eine Schrottladung oder bewußte Bleiabschirmung im Falle eines Schmuggels von Nuklearmaterial) können mit den bekannten Meßverfahren häufig nicht erkannt werden. Die Ursache hierfür liegt einerseits darin, daß die bei der Gammaspektroskopie verwendeten Detektoren (anorganische Szintillationskristalle, hochauflösende Germanium-Detektoren) nur bedingt für Messungen an bewegten Transportfahrzeugen oder für Messungen mit einem Meßfahrzeug während schneller Fahrt geeignet sind, da bei den Meßzeiten von typischerweise 100 ms bis zu wenigen Sekunden die nur noch schwach ausgeprägten Photopeaks (= voller Energieübertrag der Primärstrahlung an den Detektor) nicht statistisch sicher erfaßt werden. Andererseits führen der in vielen Fällen große Abstand zwischen Detektor und radioaktiver Quelle sowie deren mögliche Abschirmung dazu, daß sich die zusätzliche Gammastrahlungsintensität auch sehr starker Strahler häufig nur im Bereich der lokal gemessenen Gammastrahlungsintensität des natürlichen Strahlenfelds liegt. So wird z. B. bei einem Transportmittel (z. B. LKW oder Eisenbahnwagen) zum Transport der Strahlungsquelle aufgrund der Stahlkonstruktion des Transportmittels ein beträchtlicher Anteil der Umgebungsstrahlung von vornherein abgeschirmt. Die vom Detektor am einfahrenden Transportmittel gemessene Zählrate wird um bis zu 50% abgesenkt. Eine schwache Strahlungsquelle, welche diesen Absenkeffekt nicht überkompensieren kann, wird deshalb mit den herkömmlich eingesetzten Meßsystemen nicht erkannt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine eindeutige Erkennung künstlicher Gammastrahlung zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmalskombinationen der Ansprüche 1 und 8 gelöst. Die Erfindung beruht dabei auf der Erkenntnis, daß ein Detektor aus organischem Szintillationsmaterial (Flüssig- oder Plastik-Szintillator) aufgrund seiner schlechten spektroskopischen Eigenschaften (die niedrigen Ordnungszahlen der Kohlenwasserstoffe bewirken einen fast ausschließlichen Energieübertrag über Comptoneffekt) äußerst robust gegenüber spektralen Details der Umgebungsstrahlung

ist. Es entsteht eine charakteristische Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung (Umgebungsstrahlung) unabhängig von deren Strahlungsintensität und örtlichen Schwankungen. Diese Kennlinie weist also einen charakteristischen Verlauf auf und wird allenfalls — abhängig von der gemessenen absoluten Impulsanzahl — angehoben oder abgesenkt. Diese Charakteristik ist ebenso durch einen oder mehrere bestimmte Referenzparameter repräsentierbar, welche von der Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleitet werden können. Dieser bzw. diese Referenzparameter wird bzw. werden verglichen mit aktuell gemessenen und gegebenenfalls durch Weiterverarbeitung ermittelten Daten (= Meßdaten) einer Impulsamplitudenverteilung. Aus dem gegebenenfalls noch weiterverarbeiteten Vergleichsergebnis kann eindeutig auf das Vorhandensein künstlicher Gammastrahlung (= die in der natürlichen Umgebung normalerweise nicht vorhandene Gammastrahlung) oder auf das Fehlen künstlicher Gammastrahlung geschlossen werden.

Bei dem Referenzparameter handelt es sich z. B. um eine Steigung der Referenz-Impulsamplitudenverteilung, die im Meßbetrieb mit aktuellen Meßdaten verglichen wird.

In einer besonders einfachen Ausgestaltung des Meßverfahrens werden zwei Impulsamplitudenschwellen festgelegt. Eine Oberschwelle wird so gesetzt, daß bei Verwendung eines geeigneten Prüfstrahlers (z. B. Cs-137; in diesem Fall ist Cs-137 oder eine demgegenüber niederenergetischere Quelle im Meßbetrieb der gesuchte Gammastrahler) über die Oberschwelle nur noch wenige oder überhaupt keine zusätzlichen Impulse gelangen. Die Oberschwelle wird also in den Bereich der größten erwarteten Impulsamplituden des Gammastrahlers gesetzt. Dieser Bereich kann auch einen Schwellwert oberhalb der größten erwarteten Impulsamplituden des Gammastrahlers beinhalten. Eine Unterschwelle wird unterhalb der Oberschwelle gesetzt. Vorzugsweise wird diese Unterschwelle so tief wie möglich, d. h. gerade oberhalb der elektronischen Rauschgrenze, gesetzt. Für beide Schwellen wird im Meßbetrieb jeweils die integrale Zählrate, d. h. die Zählrate aller Impulse mit im Vergleich zur Schwelle größeren Impulsamplituden gemessen. Diese aktuell gemessenen Zählraten bilden dann die Meßdaten. Bei natürlicher Umgebungsstrahlung ändern sich die beiden Meßdaten lediglich in dem durch die Charakteristik der natürlichen Gammastrahlung vorgegebenen Verhältnis. Bei Vorhandensein künstlicher Gammastrahler steigt durch die zusätzlichen Impulse lediglich die integrale Zählrate der Unterschwelle an. Die integrale Zählrate der Oberschwelle hingegen steigt nur unwesentlich oder überhaupt nicht an. Diese Anomalie wird beim Vergleich mit den Referenzdaten erkannt. Auf diese Weise können selbst schwache künstliche Gammastrahler von der natürlichen Umgebungsstrahlung eindeutig unterschieden und erkannt werden.

Vorzugsweise wird die Oberschwelle so festgelegt, daß durch die Messung ihrer Zählrate bereits die meisten der künstlichen Nuklide erfaßt werden. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn die Oberschwelle in den Bereich der größten Impulsamplituden von Cs-137 gesetzt wird. Um auch höherenergetischere Gammastrahler (z. B. Co-60) erfassen zu können, kann gleichzeitig mindestens eine weitere Oberschwelle oberhalb der ersten Oberschwelle festgelegt werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Referenz-

parameter das bei natürlicher Gammastrahlung ermittelte Referenz-Zählratenverhältnis beider Schwellen. Aufgrund der oben erläuterten, im wesentlichen konstanten Zählratenverteilung der natürlichen Gammastrahlung handelt es sich bei diesem Referenzparameter um einen im wesentlichen konstanten Wert. Das Referenz-Zählratenverhältnis kann deshalb vor dem Meßbetrieb durch eine einfache Initialisierungsmessung festgelegt werden oder von früheren Initialisierungsmessungen übernommen werden.

Um einen besonders einfachen, rechenunaufwendigen Vergleich zwischen den aktuell gemessenen Zählraten und der Referenz-Impulsamplitudenverteilung oder dem Referenzparameter zu erzielen, wird aus beiden einander zugeordneten, aktuell gemessenen Zählraten ein Meß-Zählratenverhältnis gebildet. Vorzugsweise wird dieses Meß-Zählratenverhältnis mit dem Referenz-Zählratenverhältnis verglichen. Stimmt das Meß-Zählratenverhältnis mit dem Referenz-Zählratenverhältnis überein oder liegt das Meß-Zählratenverhältnis innerhalb eines durch das Referenz-Zählratenverhältnis vorgegebenen Toleranzbandes, so ist kein künstlicher Gammastrahler vorhanden. Andernfalls — z. B. bei einer Abweichung der beiden Zählratenverhältnisse von über 20% voneinander — kann zuverlässig auf das Vorhandensein von künstlicher Gammastrahlung geschlossen werden. Dieser Vergleich ermöglicht ohne komplizierte Auswerteverfahren einen qualitativen Nachweis (ja/nein-Bestimmung) künstlicher Gammastrahler. Um sämtliche künstliche Nuklide nachweisen zu können, werden einfach mehrere Meß-Zählratenverhältnisse aus unterschiedlichen Oberschwellen und zugeordneten Unterschwellen gebildet und jeweils mit einem entsprechenden Referenz-Zählratenverhältnis verglichen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Intensität von erkannten Gammastrahlern bestimmt. Hierbei wird vorzugsweise das Referenz-Zählratenverhältnis mit der aktuell gemessenen Zählrate der Oberschwelle multipliziert. Dieses Produkt wird mit der aktuell gemessenen Zählrate der Unterschelle verglichen, wobei die Differenz zwischen beiden Werten eine sogenannte kompensierte Zählrate eines künstlichen Gammastrahlers ergibt. Bei natürlicher Umgebungssstrahlung ist diese kompensierte Zählrate angenähert Null. Überschreitet die kompensierte Zählrate hingegen einen vorgegebenen Grenzwert, so kann ein Signal ausgelöst werden, welches das Vorhandensein eines künstlichen Gammastrahlers anzeigt. Dieser Vergleich zwischen den gemessenen Zählraten und einem Referenzparameter ermöglicht verfahrenstechnisch einfach sowohl einen qualitativen Nachweis (= Überschreiten des Grenzwertes) der künstlichen Gammastrahler als auch eine quantitative Bestimmung der Intensität bzw. Dosisleistung der künstlichen Gammastrahlung. Die Höhe der kompensierten Zählrate, d. h. die Intensität der künstlichen Gammastrahlung, läßt einen Schluß über die Stärke der Strahlungsquelle und den Umfang von zu erwartenden Strahlenschäden zu.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine weitere Impulsamplitudenschwelle zur Messung der integralen Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung festgelegt. Die Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung wird dann von den gemessenen Zählraten der Unterschelle und Oberschwelle subtrahiert. Durch Berücksichtigung dieser sehr hochenergetischen Meßereignisse (> ca. 3 MeV) wird die Genauigkeit des Meßverfahrens insbesondere in Gebieten mit sehr geringer natürlicher Gammastrahlung oder hoher kosmischer Strah-

lungsintensität (z. B. Gebirge, Hochebenen) verbessert.

In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird bei einer Abweichung des bei der Messung ermittelten Ist-Vergleichsergebnisses von einem vorgegebenen Soll-Vergleichsergebnis das Vorhandensein von künstlicher Gammastrahlung signalisiert. Ebenso kann das Fehlen von künstlicher Gammastrahlung angezeigt werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erkennung künstlicher Gammastrahler enthält einen organischen Szintillator. Dieser Detektor kann kostengünstig in großen Volumina gefertigt werden. Damit können bei verhältnismäßig geringem apparativem Kostenaufwand Messungen in kurzer Meßzeit mit der erforderlichen statistischen Signifikanz durchgeführt werden. In einer vorteilhaften Ausführungsform weisen Detektoren mit Volumina über etwa 1 l eine Geometrie mit ca. 5–10 cm Dicke auf. Hierdurch läßt sich ein besonders günstiges Verhältnis der Empfindlichkeit für Gammastrahlung mittlerer Energie erzielen. Außerdem enthält die Vorrichtung eine an den Szintillator angeschlossene Messeinheit zur Messung von Daten (diese Meßdaten werden gegebenenfalls durch eine nach der eigentlichen Messung erfolgende Weiterverarbeitung ermittelt) einer Impulsamplitudenverteilung und eine Verarbeitungseinheit zum Vergleich der Meßdaten mit mindestens einem aus einer charakteristischen Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleiteten Referenzparameter.

Die Verarbeitungseinheit ist vorzugsweise Bestandteil eines Mikroprozessorsystems oder besteht aus einem derartigen Mikroprozessor. Dies unterstützt eine rasche Verarbeitung der von der Meßvorrichtung erfaßten Meßdaten. Gleichzeitig unterstützt diese Verarbeitungseinheit einen konstruktionstechnisch einfachen Aufbau der Meßvorrichtung und deren handhabungsfreundliche Bedienung. Außerdem ermöglicht die mikroprozessorgesteuerte Verarbeitungseinheit ein schaltungstechnisch einfaches Anschließen weiterer Verarbeitungsmittel, z. B. einer Datenverarbeitungsanlage. Mit Hilfe dieser Datenverarbeitungsmittel lassen sich die von der Meßvorrichtung erfaßten Meßdaten und Vergleichsergebnisse bequem weiterverarbeiten und z. B. in Form von Tabellen oder Grafiken darstellen.

In vorteilhafter Weiterbildung weist die Vorrichtung mindestens zwei an den Szintillator angeschlossene Komparatoren auf, wobei ein Komparator einer Oberschwelle (oder mehrere Komparatoren jeweils einer Oberschwelle) im Bereich der größten erwarteten Impulsamplituden eines geeigneten Gammastrahlers (z. B. Cs-137) oder oberhalb der größten erwarteten Impulsamplituden dieses Gammastrahlers zugeordnet ist und ein zweiter Komparator der Unterschelle unterhalb dieser Oberschwelle zugeordnet ist. Mit Hilfe der an die Komparatoren angeschlossenen Messeinheit werden die beiden integralen Zählraten der beiden Schwellen gemessen. Vorzugsweise handelt es sich bei den Komparatoren und der Messeinheit um herkömmliche, auch bei Spektrometern verwendbare Bauteile. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann deshalb mit einem hohen Anteil handelsüblich vorkonfektionierter Bauteile verhältnismäßig kostengünstig zusammengebaut werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung enthält die Verarbeitungseinheit einen Speicher zum Ablegen der Referenz-Impulsamplitudenverteilung und/oder des Referenzparameters der natürlichen Gammastrahlung. Hierdurch können einmalig abgespeicherte Referenzwerte

beim Meßbetrieb immer wieder von neuem zum Vergleich mit den aktuell gemessenen Meßdaten herangezogen werden. Initialisierungsmessungen zum Bestimmen eines oder mehrerer Referenzwerte vor jedem neuen Meßbetrieb sind deshalb überflüssig. Dies wirkt sich zeit- und kostensparend beim Betrieb der Meßvorrichtung aus.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung enthält die Verarbeitungseinheit eine Rechneinheit zur Berechnung eines Meß-Zählratenverhältnisses aus den aktuell gemessenen Zählraten der Oberschwelle und der Unterschelle.

Vorzugsweise enthält die Verarbeitungseinheit eine Rechneinheit zur Berechnung einer kompensierten Zählrate, welche sich aus der Differenz der gemessenen Zählrate der Unterschelle und einem weiteren Wert ergibt. Dieser weitere Wert ist das Produkt aus der gemessenen Zählrate der Oberschwelle und einem Referenz-Zählratenverhältnis (= Referenzparameter) beider Schwellen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform enthält die Meßvorrichtung einen zusätzlichen Komparator, welcher einer sehr hochenergetischen Impulsamplitudenschwelle zugeordnet ist. Mit Hilfe dieser Schwelle kann die Meßvorrichtung eine integrale Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung oberhalb dieser Schwelle messen und verarbeiten. Diese Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung wird in der Verarbeitungseinheit von den aktuell gemessenen Zählraten der Oberschwelle und Unterschelle schaltungstechnisch oder mit Hilfe eines Mikroprozessors subtrahiert. Auf diese Weise verhindert die Meßvorrichtung fehlerhafte Messungen der integralen Zählraten von Oberschwelle und Unterschelle.

Die Verarbeitungseinheit vergleicht die gegebenenfalls verarbeiteten Meßdaten mit den charakteristischen Referenzdaten. Weicht das Ist-Vergleichsergebnis von einem vorgegebenen Soll-Vergleichsergebnis (= entweder ein einzelner Wert oder ein Toleranzband) ab, löst die Verarbeitungseinheit in einer bevorzugten Ausführungsform ein Signal aus, welches über geeignete Signalisierungsmittel (z. B. LED, Relais) dem Benutzer das Vorhandensein künstlicher Gammastrahlung zuverlässig anzeigt. Ebenso können an die Verarbeitungseinheit Signalisierungsmittel zur Anzeige eines Fehlens künstlicher Gammastrahlung angeschlossen sein.

Der Erfindungsgegenstand wird anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Meßvorrichtung zur Erkennung eines künstlichen Gammastrahlers,

Fig. 2 eine normierte Zählratenverteilung in Abhängigkeit von Schwellwerten der Gammastrahlung für Cs-137, für Co-60 und die natürliche Umgebungsstrahlung,

Fig. 3 ein Funktionsschema des Meßverfahrens,

Fig. 4 die integrale Zählrate für die Unterschelle der natürlichen Gammastrahlung während einer Stadtfahrt,

Fig. 5 die integrale Zählrate gemäß Fig. 4 beim mehrfachen Passieren eines Cs-137-Strahlers,

Fig. 6 das gemessene Zählratenverhältnis der Oberschwelle und Unterschelle für die natürliche Gammastrahlung während der Stadtfahrt und

Fig. 7 das gemessene Zählratenverhältnis der Schwellen gemäß Fig. 6 beim mehrfachen Passieren des Cs-137-Strahlers gemäß Fig. 4.

Die Meßvorrichtung gemäß Fig. 1 detektiert  $\gamma$ -Quanten mit Hilfe eines organischen Szintillators 1. Die Lichtquanten des Szintillators 1 werden von einem nachge-

schalteten Fotomultiplier 2 gewandelt. Der Szintillator 1 und der Fotomultiplier 2 sind zu einer Detektoreinheit 3 zusammengefaßt. An die Detektoreinheit 3 sind in der bei herkömmlichen Szintillationszählern üblichen Weise ein Arbeitswiderstand 4, ein Hochspannungsgenerator 5, ein Kondensator 6 und ein Verstärker 7 angeschlossen. An den Ausgang des Verstärkers 7 wiederum sind vier parallelgeschaltete Komparatoren K1-K4 angeschlossen. Der Komparator K1 ist einem Schwellwert S1 zugeordnet, der vorzugsweise im Bereich der niedrigsten Impulsamplituden der Gammastrahlung positioniert ist (Fig. 2). Der Komparator K2 ist einem Schwellwert S2 zugeordnet, der im Bereich der größten Impulsamplituden eines geeigneten künstlichen Gammastrahlers (hier: Cs-137-Strahler) angesiedelt ist. Der Komparator K3 ist einem Schwellwert S3 zugeordnet und im Impulsratenspektrum bzw. Zählratenspektrum im Bereich der größten Impulsamplituden eines gegenüber dem Schwellwert S2 höherenergetischeren künstlichen Gammastrahlers (hier: Co-60) angeordnet. Der Komparator K4 ist einem Schwellwert S4 zugeordnet, der zur Messung der integralen Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung dient. In weiteren, hier nicht dargestellten Ausführungsformen enthält die Meßvorrichtung lediglich die Komparatoren K1/K2 oder K1/K2/K4 oder K1/K2/K3, wodurch der Schaltungsaufwand der Meßvorrichtung kostensparend reduziert ist.

An die Ausgänge der Komparatoren K1-K4 ist eine Messeinheit 8 angeschlossen, welche jedem Schwellwert zugeordnet alle Impulse mit im Vergleich zu dem Schwellwert größeren Impulsamplituden registriert. Daraus berechnet die Messeinheit 8 oder eine daran angeschlossene Rechneinheit 9 zu jedem Schwellwert S eine integrale Zählrate R aller Impulse mit einer Impulsamplitude  $\geq S$ .

Die Messeinheit 8 ist an eine Verarbeitungseinheit 10 angeschlossen, welche die Rechneinheit 9 und eine Speichereinheit 11 enthält. In Fig. 1 sind die Einheiten 8, 9, 11 Bestandteile eines Mikroprozessorsystems 12. In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind die einzelnen Baueinheiten durch Analogschaltungen realisiert.

In der Speichereinheit sind ein oder mehrere später noch zu erläuternde charakteristische Referenzparameter abgelegt, welche für den Szintillator 1 bei natürlicher Gammastrahlung ermittelbar sind. Die im Meßbetrieb von der Messeinheit 8 aktuell gemessenen Zählraten R werden mit dem Referenzparameter oder den Referenzparametern verglichen. Bei einem ganz bestimmten Vergleichsergebnis, d. h. einem Über- bzw. Unterschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes, werden von der Verarbeitungseinheit 10 daran angeschlossene Signalisierungsmittel angesteuert, um den Benutzer das Vergleichsergebnis (= künstliche Gammastrahlung vorhanden/nicht vorhanden) optisch oder akustisch mitzuteilen. In Fig. 1 sind an der Verarbeitungseinheit 10 als Signalisierungsmittel beispielhaft eine erste Leuchtdiode 13 und eine zweite Leuchtdiode 14 angeschlossen. Mit Hilfe einer an die Verarbeitungseinheit 10 angeschlossenen Schnittstelle 15, z. B. einem V24-Treiber/Empfänger, kommuniziert die Meßvorrichtung mit peripheren Datenverarbeitungsmitteln, z. B. einer Rechnanlage. Für diese Kommunikation enthält die Schnittstelle 15 eine Spannungsversorgung +12 V/GND und verschiedene Signalleitungen, welche beispielhaft als RD, TD, RTS und CTS dargestellt sind. Über einen Signalausgang 16 ist die Verarbeitungseinheit 10 an einen Digital/Analog-Wandler 17 angeschlossen, welcher wie-

derum in der üblichen Weise den Hochspannungsgenerator 5 ansteuert.

Beim organischen Szintillator 1 bleibt die Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung in ihrer charakteristischen Form derart erhalten, daß deren integrale, von den Schwellwerten S abhängige Zählratenverteilung unabhängig von örtlichen Schwankungen eine im wesentlichen konstante Kennlinie ergibt (Fig. 2). Von diesem charakteristischen Impulsamplitudenspektrum oder der Zählratenverteilung sind deshalb ein oder mehrere charakteristische Referenzparameter der natürlichen Gammastrahlung ableitbar. Bei einem Vergleich der aktuell gemessenen Zählraten  $R_U$  und  $R_O$  mit dem Referenzparameter oder den Referenzparametern kann dann eindeutig das Vorhandensein künstlicher Gammastrahler erkannt werden. Für diesen Vergleich wird der für künstliche Gammastrahler (z. B. die relevanten Strahler Cs-137, Ir-192, U-235, Pu-239) und natürliche Gammastrahler unterschiedliche Energieübertrag auf die Detektoreinheit 3 ausgenutzt. In einer bevorzugten Ausführungsform werden zwei Impulsamplitudenschwellen verwendet, eine Unterschwellen  $S_U$  und eine Oberschwelle  $S_O$ . Gemäß Fig. 2 — die Impulsamplitudenachse ist hier beispielhaft in der Einheit "mV" eingetragen — bewirkt ein Cs-Prüfstrahler oberhalb von etwa 600 mV keine zusätzlichen Impulse, während dort die natürliche Umgebungsstrahlung noch eine nennenswerte Impulszahl aufweist. Die Oberschwelle  $S_O = S_2$  liegt deshalb vorzugsweise zwischen 600–700 mV. Um eine größtmögliche statistische Signifikanz zu erzielen, wird die Unterschwellen  $S_U = S_1$  zwischen 20–50 mV positioniert. Eine zweite Oberschwelle  $S_O = S_3$  ist in den Bereich der größten Impulsamplituden eines Co-Prüfstrahlers, also zwischen 1200–1300 mV positioniert. Die Hörschwelle  $S_4$  zur Messung der integralen Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung ist vorzugsweise in dem Impulsamplitudenbereich zwischen 3000–4000 mV positioniert (in Fig. 2 nicht dargestellt).

Der Vergleich der gemessenen Zählraten  $R_O$  für die Oberschwelle  $S_O$  und  $R_U$  für die Unterschwellen  $S_U$  mit einem charakteristischen Referenzparameter wird anhand von Fig. 3 erläutert. In einer besonders einfachen Weise wird der Referenzparameter als ein bei natürlicher Gammastrahlung vorhandenes Referenz-Zählratenverhältnis  $V_R$  ermittelt, wobei gilt:

$$V_R R_U / R_O.$$

Für dieses Referenz-Zählratenverhältnis  $V_R$  ergibt sich — je nach Detektorgeometrie und Schwellenwahl — typischerweise ein Wert von ca. 3 ... 10. Dieser Wert kann beispielsweise durch eine Initialisierung der Meßvorrichtung vor dem eigentlichen Meßbetrieb gewonnen werden. Hierzu wird für einen bestimmten Zeitraum (z. B. ca. 10 s) im natürlichen Strahlungsfeld die Zählraten  $R_U$  und  $R_O$  bestimmt. Zur Überprüfung, ob für den Referenzparameter ein geeigneter Wert festgelegt wurde, kann zuvor eine Testmessung mit geeigneten Prüfstrahlern durchgeführt werden.

Während des Meßbetriebes wird in der Verarbeitungseinheit 10 aus den beiden aktuell gemessenen Zählraten  $R_U$  und  $R_O$  ein Meß-Zählratenverhältnis  $V_M$  berechnet. Dieses Meß-Zählratenverhältnis  $V_M$  wird mit dem Referenz-Zählratenverhältnis  $V_R$  verglichen. Bei Vorhandensein künstlicher Gammastrahler wird die gemessene Zählrate  $R_U$  größer, so daß das Meß-Zählratenverhältnis  $V_M$  gegenüber dem Referenz-Zählratenverhältnis  $V_R$  ansteigt. Somit kann mit diesem Vergleich

zuverlässig erkannt werden, daß ein Cs-137-Strahler bzw. ein demgegenüber niederenergetischeres Nuklid vorhanden ist. Wird ein ganz bestimmtes Nuklid mit gegenüber Cs-137 niederenergetischerer Gammastrahlung gesucht (z. B. Ir-192, Pu-239, U-235), so kann die Oberschwelle  $S_O$  entsprechend abgesenkt positioniert werden. Das gegenüber Cs-137 höherenergetischere künstliche Nuklid Co-60 wird mittels des Meß-Zählratenverhältnisses  $V_M$  für  $S_U = S_1$  und  $S_O = S_2$  nur erkannt, sofern es sich um einen abgeschirmten Co-60-Strahler handelt, da sich in diesem Fall das Energiespektrum durch Comptonstreuung nach links (= niedrigere Gammaenergien) verschiebt. Ein starker freier Co-60-Strahler und in Bezug auf die ausgesandten Gammaenergien vergleichbare künstliche Nuklide werden zuverlässig erkannt, wenn das Meß-Zählratenverhältnis  $V_M$  für  $S_U = S_2$  und  $S_O = S_3$  berechnet und mit einem entsprechenden zuvor ermittelten Referenz-Zählratenverhältnis  $V_R$  der natürlichen Gammastrahlung verglichen wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Meßvorrichtung mit entsprechenden Schaltungen und Bedienelementen od. dgl. ausgestattet, welche dem Benutzer eine individuelle Auswahl gestatten, welches künstliche Nuklid auf sein Vorhandensein hin überprüft werden soll. Die Meßvorrichtung mißt dann die Zählraten  $R_U$  und  $R_O$  für die durch den Benutzer positionierten Schwellwerte S.

Zur quantitativen Bestimmung des erkannten künstlichen Gammastrahlers wird in der Rechneinheit 9 eine kompensierte Zählrate  $R_K$  der Form

$$R_K = R_U - V_R \cdot R_O$$

berechnet. Ist im Meßbetrieb kein künstlicher Gammastrahler vorhanden, gilt  $R_K \approx 0$ . Andernfalls löst die mit dieser Gleichung berechnete kompensierte Zählrate  $R_K$  bei Überschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes  $W_G$  ein Signal aus, welches das Vorhandensein eines künstlichen Strahlers signalisiert. Gleichzeitig läßt die berechnete kompensierte Zählrate  $R_K$  einen Rückschluß auf die Intensität des künstlichen Strahlers zu. Bei dem vorgenannten Grenzwert zum Vergleich mit der kompensierten Zählrate  $R_K$  handelt es sich entweder um einen fest eingestellten Betrag (Dimension:  $s^{-1}$ ) oder um einen bestimmten Bruchteil der Gesamtzählrate (entspricht der Zählrate  $R_U$  für die Unterschwellen  $S_U$ ) oder um einen aus statistischen Betrachtungen zur akzeptierten Fehlalarmwahrscheinlichkeit (Erkennungsgrenze) durch das Meßsystem ständig neu berechneten Grenzwert.

Analog kann die kompensierte Zählrate  $R_K$  für die beiden Schwellen  $S_U = S_2$  und  $S_O = S_3$  und das entsprechende Referenz-Zählratenverhältnis  $V_R = R_{S2}/R_{S3}$  ermittelt und mit einem entsprechenden Grenzwert verglichen werden.

Zur automatischen Driftstabilisierung bei der Strahlungsmessung und zur Steigerung der Selektivität der Messungen enthält die Verarbeitungseinheit 10 in einer bevorzugten Ausführungsform elektronische Mittel und/oder einen Prozessor, um Drifteffekte (Temperatur, Elektronik, Witterungseffekte etc.) zu kompensieren. Dies wird erzielt durch ein automatisches "Lernen" des Referenzparameters innerhalb zulässiger Grenzen mit einer einstellbaren Zeitkonstante. Dadurch können absolute Schwankungen des Referenzparameters kompensiert und dessen Bandbreite variiert werden, so daß falsche Meßergebnisse vermieden werden. Dies ist ins-

besondere wichtig für Meßaufgaben, bei denen es auf das Erkennen schneller Veränderungen des Strahlungsfeldes ankommt.

Der Unterschied zwischen dem erfindungsgemäßen Meßverfahren und einer herkömmlichen quantitativen Meßauswertung wird anhand der Fig. 4—Fig. 7 dargestellt: Die im 250 ms-Takt abgespeicherten Meßdaten wurden von einem Meßfahrzeug, welches mit einem Großflächendetektor (50 cm × 100 cm × 5 cm) ausgerüstet ist, ausgemessen. In Fig. 4 ist die über 1 s gleitend gemittelte Gesamtzählrate  $R_U$  für den Schwellwert  $S_1$  während einer Stadtfahrt dargestellt. Deutlich erkennbar ist, daß selbst ohne Vorhandensein eines künstlichen Gammastrahlers die Zählrate  $R_U$  der natürlichen Gammastrahlung ganz erhebliche Schwankungen aufweist. Hingegen ist das bei dieser Stadtfahrt gemessene Zählratenverhältnis  $V_M = R_U/R_O$  für die Schwellen  $S_U = S_1$  und  $S_O = S_2$  im wesentlichen konstant und eignet sich deshalb als Referenzparameter  $V_R$  der natürlichen Gammastrahlung (Fig. 9). Um die Auswirkung einer Vorbeifahrt an einem künstlichen Gammastrahler zu demonstrieren, wurde eine relativ schwache Cs-137-Quelle von 700 kBq mehrmals mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Abständen passiert. Während die Änderungen der gemessenen Zählrate  $R_U$  deutlich innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite der während der Stadtfahrt gemessenen Zählrate  $R_U$  bleiben (siehe Fig. 4) und deshalb im Meßbetrieb kein zuverlässiges Erkennen eines künstlichen Strahlers ermöglichen, ist der Nachweis einer künstlichen Strahlungsquelle mit Hilfe der vom konstanten Zählratenverhältnis  $V_R$  der natürlichen Gammastrahlung abweichenden Werte des im Meßbetrieb ermittelten Zählratenverhältnisses  $V_M = R_U/R_O$  eindeutig gegeben.

#### Bezugszeichenliste

- 1 organischer Szintillator
- 2 Fotomultiplier
- 3 Detektoreinheit
- 4 Arbeitswiderstand
- 5 Hochspannungsgenerator
- 6 Kondensator
- 7 Verstärker
- 8 Messeinheit
- 9 Rechneinheit
- 10 Verarbeitungseinheit
- 11 Speichereinheit
- 12 Mikroprozessorsystem
- 13 erste Leuchtdiode
- 14 zweite Leuchtdiode
- 15 Schnittstelle
- 16 Signalausgang
- 17 Digital/Analog-Wandler
- K1—K4 Komparatoren
- $R_U$  integrale Zählrate für die Unterschwellen  $S_U$
- $R_O$  integrale Zählrate für die Oberschwelle  $S_O$
- $R_S$  integrale Zählrate für die Schwelle  $S$
- $S, S_1, S_2, S_3$  Schwellwert
- $S_U$  Unterschwellen
- $S_O$  Oberschwelle
- $S_4$  Hörschwelle
- $V_M$  Meß-Zählratenverhältnis
- $V_R$  Referenz-Zählratenverhältnis
- $W_G$  Grenzwert

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung mittels eines organischen Szintillators (1), wobei gemessene Daten ( $R_O, R_U, V_M$ ) einer Impulsamplitudenverteilung mit mindestens einem aus einer charakteristischen Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleiteten Referenzparameter ( $V_R$ ) verglichen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für jede Oberschwelle ( $S_O$ ) im Bereich der jeweils erwarteten größten Impulsamplituden der künstlichen Gammastrahlung und für eine der Oberschwelle ( $S_O$ ) zugeordneten Unterschwellen ( $S_U$ ) die integralen Zählraten ( $R_O, R_U$ ) als Meßdaten ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, wobei der Referenzparameter das bei natürlicher Gammastrahlung ermittelte Referenz-Zählratenverhältnis ( $V_R$ ) beider Schwellen ( $S_U, S_O$ ) ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei zum Vergleich aus den beiden einander zugeordneten, aktuell gemessenen Zählraten ( $R_U, R_O$ ) ein Meß-Zählratenverhältnis ( $V_M$ ) gebildet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, wobei zum Vergleich der beiden gemessenen Zählraten ( $R_U, R_O$ ) mit dem Referenz-Zählratenverhältnis ( $V_R$ ) eine Gleichung der Form

$$R_K = R_U - V_R \cdot R_O$$

gebildet wird mit  $R_U$  als Zählrate der Unterschwellen ( $S_U$ ), mit  $R_O$  als Zählrate der Oberschwelle ( $S_O$ ), mit  $V_R$  als Referenz-Zählratenverhältnis und mit  $R_K$  als kompensierte Zählrate, und wobei die kompensierte Zählrate ( $R_K$ ) mit einem vorgegebenen Grenzwert ( $W_G$ ) verglichen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die beiden gemessenen Zählraten ( $R_U, R_O$ ) um eine gemessene integrale Zählrate ( $R_{S4}$ ) der natürlichen Höhenstrahlung bei einer vorgegebenen Hörschwelle ( $S_4$ ) reduziert werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei bei einer Abweichung des bei der Messung ermittelten Ist-Vergleichsergebnisses von einem vorgegebenen Soll-Vergleichsergebnis das Vorhandensein von künstlicher Gammastrahlung signalisiert wird.
8. Vorrichtung zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung mit einem organischen Szintillator (1), mit einer an den Szintillator (1) angeschlossenen Messeinheit (8) zur Messung von Daten ( $R_O, R_U, V_M$ ) einer Impulsamplitudenverteilung und mit einer Verarbeitungseinheit (10) zum Vergleich der Meßdaten ( $R_O, R_U, V_M$ ) mit mindestens einem aus einer charakteristischen Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleiteten Referenzparameter ( $V_R$ ).
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei mindestens zwei an den Szintillator (1) angeschlossene Komparatoren (K1, K2) für eine Oberschwelle ( $S_O$ ) im Bereich der jeweils erwarteten größten Impulsamplituden der künstlichen Gammastrahlung und für eine der Oberschwelle ( $S_O$ ) zugeordneten Unterschwellen ( $S_U$ ) vorgesehen sind zur Messung der integralen Zählraten ( $R_U, R_O$ ) der beiden Schwellen ( $S_U, S_O$ ).
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, wobei die

Verarbeitungseinheit (10) eine Speichereinheit (11) zum Ablegen der Referenz-Impulsamplitudenverteilung und/oder des Referenzparameters ( $V_R$ ) der natürlichen Gammastrahlung enthält.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei die Verarbeitungseinheit (10) eine Rechereinheit (9) zur Berechnung eines Meß-Zählratenverhältnisses ( $V_M$ ) aus den gemessenen Zählraten ( $R_U, R_O$ ) enthält.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Verarbeitungseinheit (10) eine Rechereinheit (9) zur Berechnung der Gleichung

$$R_K = R_U - V_R \cdot R_O$$

enthält mit  $R_U$  als Zählrate der Unterschwelle ( $S_U$ ), mit  $R_O$  als Zählrate der Oberschwelle ( $S_O$ ), mit  $V_R$  als Referenz-Zählratenverhältnis und mit  $R_K$  als kompensierte Zählrate, und wobei die Verarbeitungseinheit (10) die kompensierte Zählrate ( $R_K$ ) mit einem vorgegebenen Grenzwert ( $W_G$ ) vergleicht.

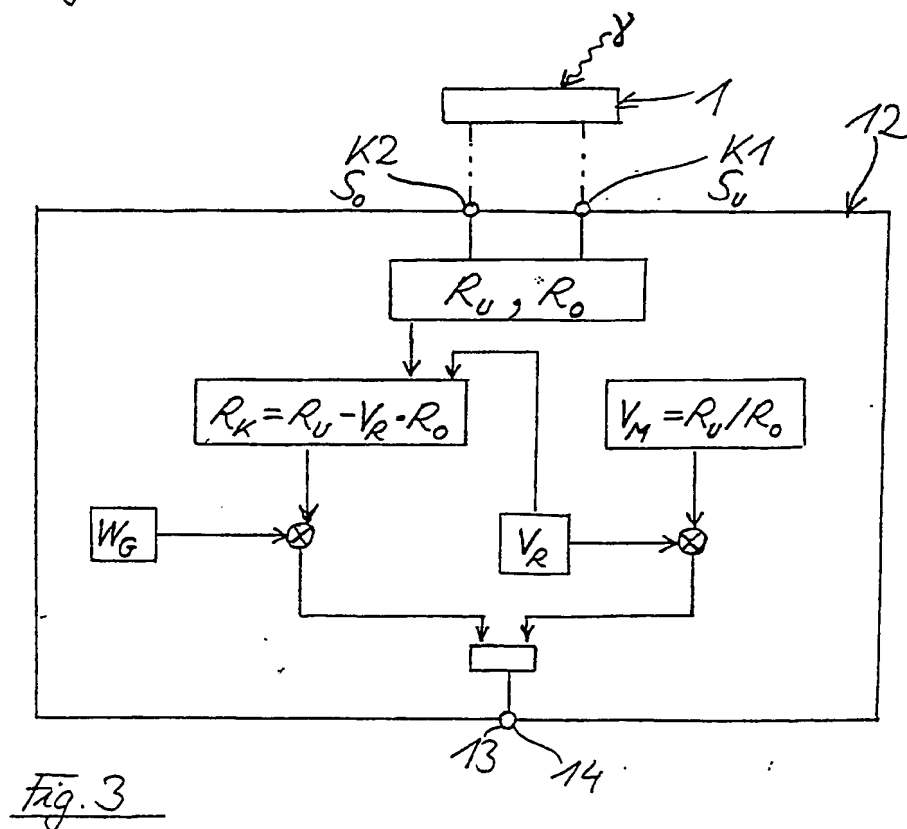
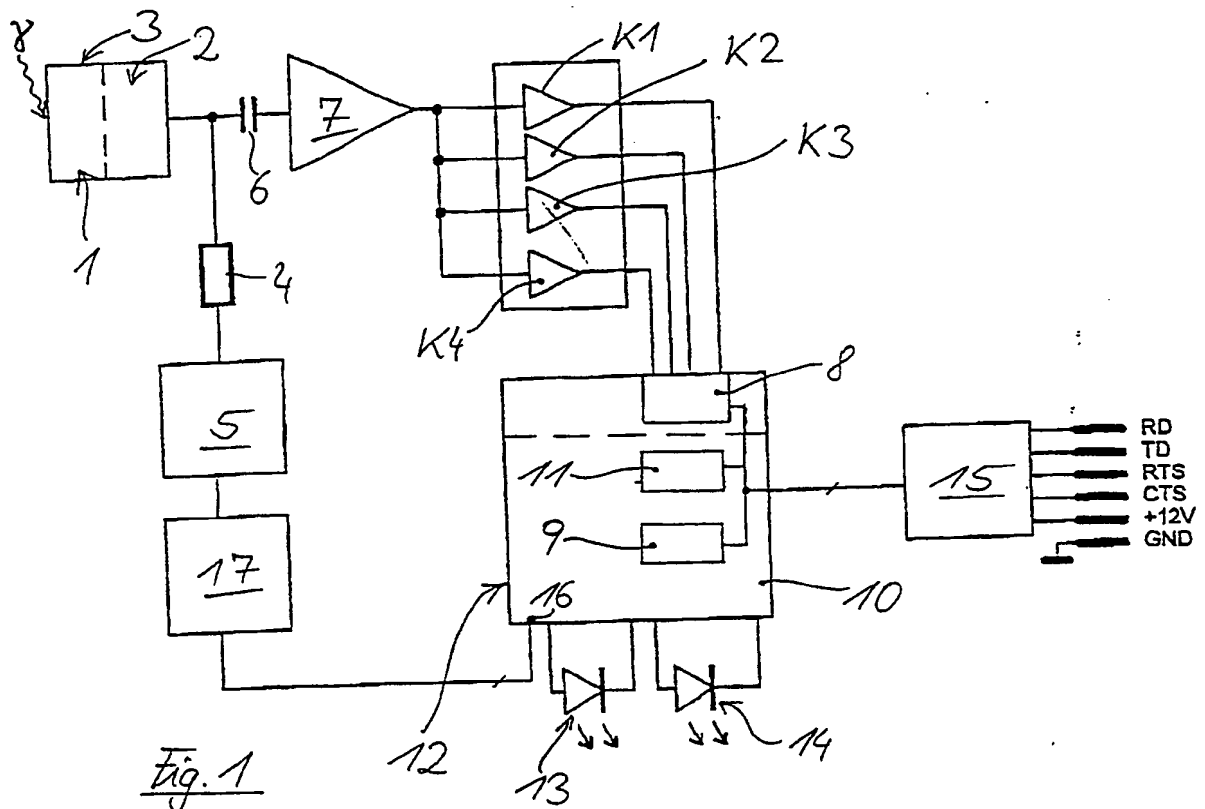
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei ein zusätzlicher Komparator (K4) für eine Höschwelle ( $S_4$ ) vorgesehen ist zur Messung einer integralen Zählrate ( $R_{S4}$ ) der natürlichen Höhenstrahlung bei einer vorgegebenen Höschwelle ( $S_4$ ).

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, wobei Signalisierungsmittel (13, 14) vorgesehen sind, welche bei einer Abweichung des bei der Messung ermittelten Ist-Vergleichsergebnisses von einem vorgegebenen Soll-Vergleichsergebnis das Vorhandensein von künstlicher Gammastrahlung signalisieren.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---





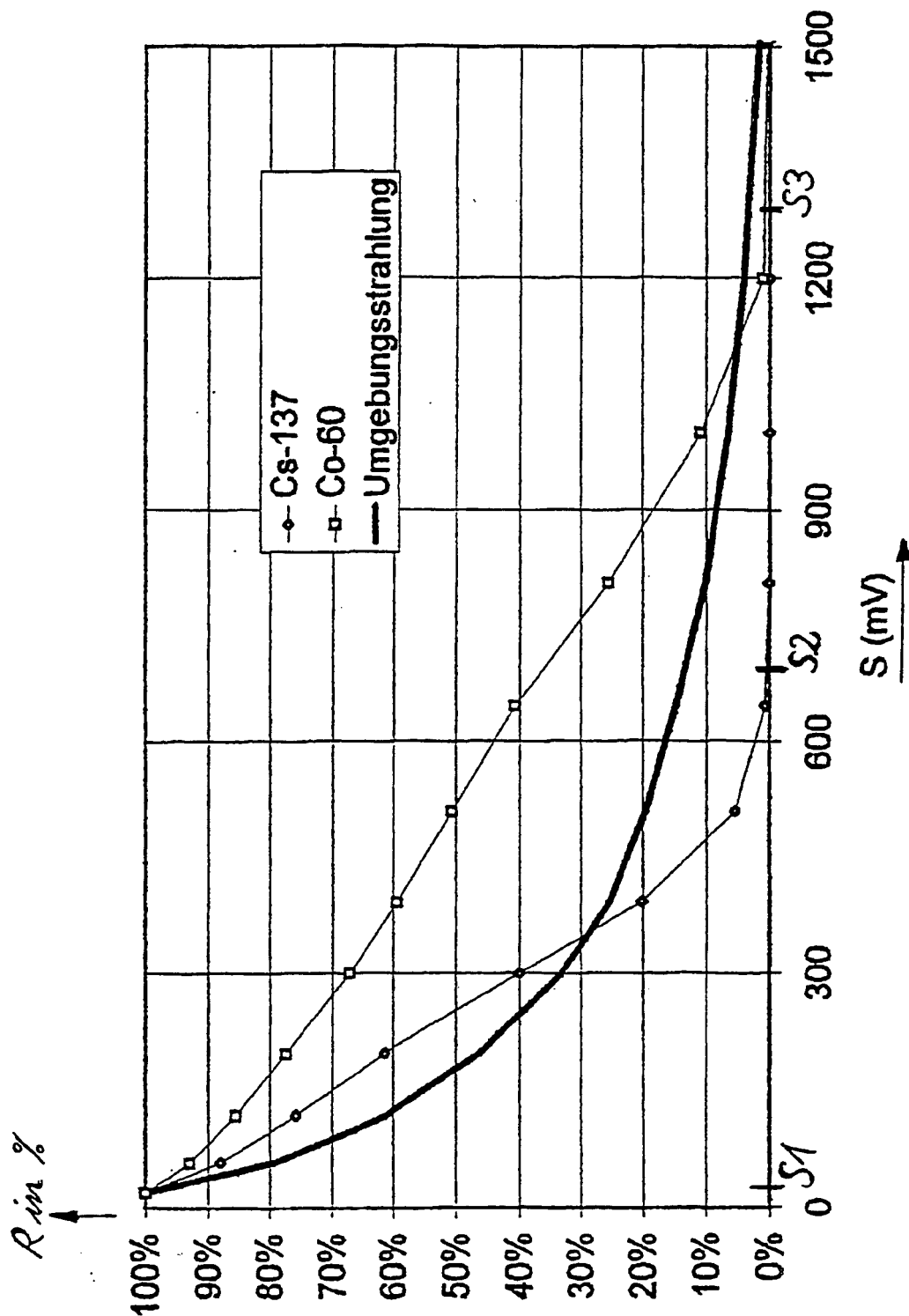


Fig 2

